

## Tasas de erosión costera y ortofotos históricas: Una propuesta de corrección geométrica direccional

José Ojeda, Raquel Sánchez, Antonio Prieto y Pilar Díaz

Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. C/ Doña María de Padilla s/n, 41004-Sevilla, España. Emails: zujar@us.es, raquel.sanchez.1b@gmail.com, pcampos@us.es, pilard@us.es

**Resumen:** La fotointerpretación de la línea de costa sobre fotografías aéreas y ortofotos sigue siendo una de las metodologías más utilizadas para el cálculo de tasas de erosión a largo plazo. La facilidad para la generación de ortofotos digitales ha simplificado su cálculo al proporcionar esta nueva fuente de información una mayor coherencia geométrica en las fuentes de referencia evitando las complejas correcciones geométricas que se utilizaban con las fotografías aéreas tradicionales. Sin embargo, aunque en la actualidad hay una buena disponibilidad de ortofotos desde los años 90 con gran calidad geométrica, para los vuelos fotogramétricos históricos (especialmente 1956 y 1979) los procesos de generación de ortofotos son más complejos y siguen presentando errores geométricos significativos, especialmente sensibles en la zona costera. Frente a la opción de volver a corregir geoméricamente las ortofotos históricas (proceso tedioso y costoso si el ámbito de análisis es amplio). En esta comunicación se propone un método de corrección geométrica *a posteriori* (facilitando la labor del fotointerprete que puede utilizar las ortofotos originales para la fotointerpretación y digitalización). El método propuesto utiliza un sistema de corrección geométrica direccional de las tasas ya calculadas con las ortofotos originales (con errores geométricos) y facilita una estimación del error direccional y local (en la dirección ortogonal a la línea de costa) frente a los clásicos errores medios cuadráticos (RMSE) además de, adicionalmente, permitir corregir *a posteriori* las tasas calculadas.

**Palabras clave:** ortofotos, fotografías aéreas, tasas de erosión, errores geométricos.

### *Erosion rates and historical orthophotos: a proposal for geometric directional correction*

**Abstract:** Photo-interpretation of shorelines using aerial photographs or orthophotos is still one of the most used methodologies to calculate longterm erosion rates. The ease of generating digital orthophotos has simplified calculation because this new source of information is geometrically more consistent than aerial photographs. However, although orthophotos with high geometric quality have been widely available since the 1990s, for historical orthophotos (especially 1956 and 1979), the processes for generating orthophotos are more complex and still have significant geometric errors, especially in coastal areas. As an alternative to conducting another geometric correction of historical orthophotos (tedious and expensive process, especially in an extensive study area). In this paper we propose a methodology for geometric correction *a posteriori* (to simplify the photointerpretation work). The proposed method uses an error estimator for erosion rates calculated using original historical orthophotos (with geometrical errors). This methodology provides an estimation of the directional and local error (in the orthogonal direction to shoreline) instead of the classic Root Mean Squared Error (RMSE), and also corrects the erosion rates calculated *a posteriori*.

**Keywords:** orthophotos, aerial photographs, erosion rates, geometrical errors.

### 1. INTRODUCCIÓN

El cálculo de tasas de erosión costera a partir de la fotointerpretación de la línea de costa en fotografías aéreas y ortofotos sigue siendo una de las metodologías más utilizadas para el cálculo de tasas de erosión a largo plazo (Ojeda, 2000; Viciano, 2001; Del Río, 2003; Prieto, 2009; Prieto *et al.*, 2012). La facilidad para la generación de ortofotos digitales ha simplificado su cálculo al proporcionar esta nueva fuente de información una mayor coherencia geométrica en las fuentes de referencia (ortofotos) mejorando las rectificaciones geométricas (puntos de control y polinomios de diferente grado) que se utilizaban con las fotografías aéreas tradicionales. Sin embargo, aunque en la actualidad hay una buena disponibilidad de ortofotos desde los años 90 con gran calidad geométrica, para los vuelos fotogramétricos históricos (especialmente 1956 y

79) los procesos de generación de ortofotos son más complejos y siguen presentando errores geométricos significativos, especialmente sensibles en la zona costera (no existe disponibilidad de buenos MDEs y escasez de puntos de referencia, etc.). Por ello, a veces, es necesario volver a corregir las ortofotos con nuevos puntos de control. En cualquiera de los casos un parámetro a incorporar a las tasas calculadas es el error geométrico derivado de estas correcciones para lo que se emplea generalmente el RMSE (*Root Mean Squared Error*), que generalmente se aplica a todo el fotograma o mosaico de ellas, junto a otros (tamaño píxel, calidad en la fotointerpretación del indicador de costa). Sin embargo, este parámetro (RMSE) es un estimador del error global y a-direccional, es decir, que proporciona un valor medio de los desplazamientos geométricos respecto a la fuente de referencia, el cual no tiene porqué coincidir con el desplazamiento específico

existente en la dirección ortogonal a la líneas de costas que se utilicen para el cálculo de las tasas de erosión.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta alternativa y complementaria al cálculo del error medio cuadrático, haciendo uso también de puntos de control, pero que, a diferencia de aquel, estime el error geométrico cometido exclusivamente en la dirección ortogonal a las líneas de costas del período a analizar (en la misma dirección en que se calcularán las tasas) y, por lo tanto, será diferente en cada sector costero dependiendo de la orientación de la línea de costa. Al ser un estimador del error direccional y local podrá, posteriormente, ser utilizado para corregir las tasas calculadas inicialmente con las fotografías rectificadas u ortofotos históricas facilitando, con ello, la labor del fotointerpretador que sólo se dedica a fotointerpretar con la mayor precisión el indicador elegido (contacto duna/playa, por ejemplo) y calcular las tasas inicialmente con los datos originales asumiendo los errores de aquéllas. Será posteriormente cuando se calcule el estimador del error direccional en cada par de puntos de control (al menos 3 por fotograma) obteniendo así su valor, el cual permitiría, además, corregir las tasas calculadas *a posteriori*.

## 3. DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO

Se han seleccionado para aplicar esta propuesta metodológica varios sectores de la costa de Andalucía en Huelva y Cádiz, donde existen ortofotos históricas del Vuelo Americano (1956) y del IRYDA (1979) que aún mantienen, sobre todo la de 1956, errores geométricos sensibles para el cálculo de las tasas en algunos sectores. Tras comprobar que, en los sectores seleccionados, la ortofoto de 1979 tenía unas características geométricas consistentes con las ortofotos más recientes de mayor calidad geométrica, se adoptó esta fecha como referencia para garantizar, por su mayor proximidad temporal, una buena elección de puntos de control para aplicar la metodología propuesta para el período 1956-1979. Sobre estas dos colecciones originales de ortofotos se han digitalizado las líneas de costa de las fechas de referencia (1956 y 1979) tomando como indicador la línea de contacto duna/playa (*foredune/backshore*) y se han calculado las tasas de erosión con la extensión DSAS (Thieler *et al*, 2009) con un muestreo espacial equidistante de 50 metros. La aplicación de la metodología propuesta nos proporcionará un nuevo estimador del error geométrico cometido, a partir de nuevos puntos de control (al menos 3 por fotograma) sobre las ortofotos originales, pero su cálculo se realizará (a diferencia del valor global del RMSE) en cada punto y en la dirección ortogonal a la línea de costa (en la misma dirección en la que se han calculado las tasas de erosión iniciales). Este valor nos permitirá obtener, tras su interpolación a toda la línea de

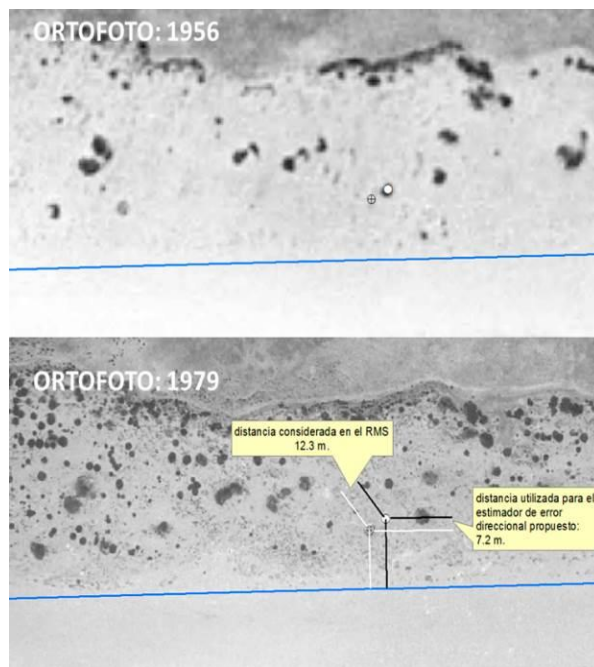
costa, no sólo un nuevo estimador local del error entre ambas colecciones de ortofotos, sino también corregir las tasas originales.

## 4. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La metodología propuesta tiene 4 pasos: (i) identificación de puntos de control homólogos en las fuentes de información originales; (ii) cálculo de error geométrico direccional de cada par de puntos sobre una línea de costa de referencia; (iii) interpolación de los valores del estimador a lo largo de la línea de costa de la zona estudio y (iv) la corrección de tasas de erosión iniciales con nuestro indicador.

### 4.1. Identificación de puntos de control

Se seleccionan al menos tres puntos de control por fotograma o una equidistancia que los garantice teniendo en cuenta la escala del vuelo en cada fecha. En el caso de la ortofoto de 1956 con fotogramas de 22 cm de lado a escala 1:33.000 sería, como mínimo, de un punto cada 2.000 metros, dado que la cobertura lateral lineal que abarca cada fotograma es de 7.260 metros (22 cm x 33.000). A los puntos homólogos se les asignará un mismo identificador para cada fecha del cálculo. Es esencial que los puntos sean fácilmente reconocibles, lo más cercanos a la costa y que tengan la menor proyección en altura con el fin de evitar errores de abatimiento.

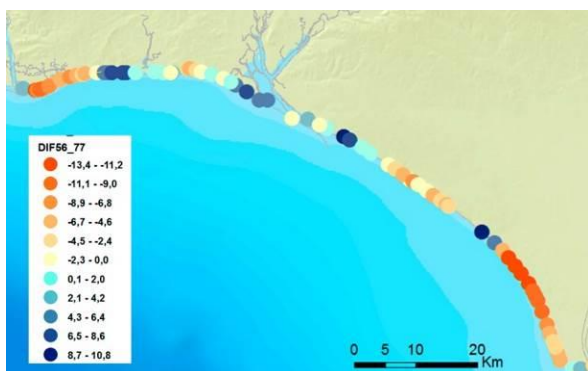


**Figura 1.** Toma de puntos de control y medición del error direccionado respecto a la línea de costa.

### 4.2. Cálculo del estimador del error direccional

Se utilizará una línea de costa suavizada para calcular con una sencilla función analítica generalmente presente

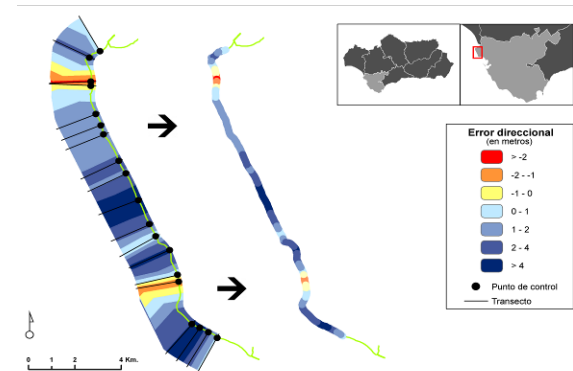
en softwares SIG (“near point” en ArcGIS) o bases de datos espaciales (PostGIS) la distancia ortogonal y dirección hacia la línea de costa para cada punto y fecha, así como los puntos de intersección con la misma. Posteriormente se calcula para cada par de puntos homólogos la diferencia de las distancias medidas, la cual nos proporcionará el estimador del error (negativo o positivo) buscado, utilizándose como control de calidad la distancia de los puntos de intersección y la dirección de las líneas. Como puede observarse en la figura 2 en la costa de Huelva los valores oscilan entre los  $\pm 11$  m. La agrupación de puntos del mismo signo por sectores es un buen indicador de la consistencia de la metodología propuesta.



**Figura 2.** Error direccional entre las ortofotos de 1956 y 1977 para la costa de Huelva.

#### 4.3. Interpolación de los valores del estimador a lo largo de la línea de costa.

Dado que los valores de las tasas calculadas se realizaron cada 50 metros, es necesario interpolar el valor dado por nuestro estimador a lo largo de la línea de costa. Para ello, como puede verse en la figura 3 de un sector de la costa de Cádiz donde se aplicó la metodología propuesta (Sánchez, 2014), se asigna el valor del estimador a líneas ortogonales a la línea de costa, de suficiente longitud como para que las líneas de costa utilizadas queden siempre dentro del polígono envolvente definido por dos líneas ortogonales consecutivas. Se realiza una interpolación lineal entre ellas (TIN en nuestro caso) para construir una superficie continua del estimador paralela a la costa y que envuelve las líneas de costa utilizadas para el cálculo de las tasas.

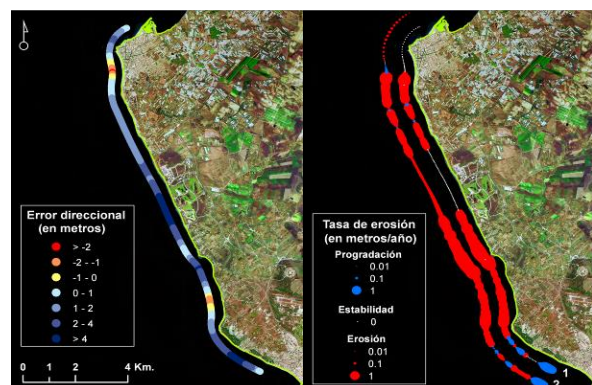


**Figura 3.** Interpolación del error direccional a partir de un TIN entre los puntos de control de las ortofotos de 1956 y 1977 para el sector noroccidental de la costa de Cádiz.

#### 4.4. Corrección de las tasas originales

Una vez obtenidos los nuevos valores continuos (TIN) correspondiente al error absoluto entre los puntos de control (expresado en metros totales), se procede a aplicarlos a las tasas de erosión previamente calculadas, para así obtener los nuevos valores ya corregidos. Dado que el error absoluto de los puntos de control del estimador se define para todo el periodo de estudio (error entre las fechas de las ortofotos que intervienen en el mismo), es necesario aplicarlo a los valores absolutos de las tasas de erosión/acumulación, para posteriormente, mediante una sencilla operación, generar las tasas anuales ya corregidas.

Como puede observarse en la figura 4, se muestran tanto las tasas calculadas originalmente como las corregidas con el estimador local y direccional propuesto.



**Figura 4.** Comparación entre las tasas de erosión sin corregir (1) y corregidas con el error direccional (2).

## 5. CONCLUSIONES

Creemos que la utilización de la metodología propuesta para el cálculo de este estimador direccional del error en el cálculo de las tasas de erosión tiene varias ventajas. En primer lugar, propone un método de corrección geométrica *a posteriori*, facilitando así la labor del fotointérprete, que puede utilizar las ortofotos históricas

originales o las fotografías rectificadas con puntos de control para la fotointerpretación, la digitalización de líneas de costa y el cálculo de tasas sin preocuparse de posibles errores geométricos adicionales en las fuentes utilizadas. En segundo lugar, proporciona una estimación directa en la medición del error en el cálculo de las tasas, ya que se trata de una estimación direccional y local (en cada punto) a diferencia de los estimadores globales (RMSE) que suelen acompañar a las rectificaciones u ortorrectificaciones de las fotografías aéreas. Por último, y más importante aún, no sólo puede ser considerado como un indicador del error en el cálculo de las tasas de erosión, sino que puede ser utilizado para su corrección posterior.

Por otra parte, en el caso de tener que utilizar fotografías rectificadas u ortorrectificadas, todavía necesarias ya que para muchos vuelos fotogramétricos históricos no están disponibles las ortofotos, se simplifica el proceso de búsqueda de puntos de control para la corrección geométrica inicial, ya que con polinomios de grado 1 ó 2 es posible obtener una imagen de suficiente calidad geométrica para la fotointerpretación y digitalización de las líneas de costa. Será posteriormente, con el uso del estimador direccional y local propuesto, con el que se obtendrán los valores de las tasas de erosión definitivas.

## 6. AGRADECIMIENTOS

El presente artículo ha sido desarrollado gracias al Plan Nacional de Investigación CSO2010-15807 denominado “Espacialización y difusión Web de Variables Demográficas, Turísticas y Ambientales para la Evaluación de la Vulnerabilidad Asociada a la Erosión de Playas en la Costa Andaluza” y al Plan de Excelencia de la Junta de Andalucía RNM-6207 denominado “Espacialización y Difusión Web de Datos de Urbanización, y Fitodiversidad para el Análisis de Vulnerabilidad ante los Procesos de Inundación Asociados a la Subida del Nivel del Mar en la Costa Andaluza”.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Del Río, L. *et al.* 2003. *Cuantificación de procesos de erosión costera en el litoral suratlántico español. Primeros resultados*. Geogaceta, 33. pp. 3-6
- Ojeda, J. 2000. *Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta*. Boletín de la A.G.E., 30. pp. 103-118.
- Prieto, A. 2009. *Propuesta metodológica para el cálculo de tasas de erosión aplicada a los deltas mediterráneos andaluces (1956-2009)*. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla. 109 pp. Inédito.
- Prieto, A., Ojeda, J., Rodríguez, S., Gracia, J. & Del Río, L. 2012. *Procesos erosivos (tasas de erosión en los deltas mediterráneos andaluces: herramientas de análisis espacial (DSAS) y evolución temporal (servicios OGC)*. En: CSIC y la Asociación de Geógrafos Españoles (Ed.): *Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto del Cambio Global*. Madrid, pp.185-195.
- Sánchez, R. 2014. *Evolución de la línea de costa en el sector Sanlúcar de Barrameda-Rota*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Sevilla. Pp.42
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. & Ergul, Ayhan. 2009. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Viciana, A. 2001. *Erosión costera en Almería 1957 – 1995*. Instituto de Estudios Almerienses. Nº 18. Almería. 551 p. ISBN 84-8108-241-4